

# UM MODELO DISTRIBUÍDO DE PRECIPITAÇÃO/ESCOAMENTO SUPERFICIAL APLICAÇÃO À RIBEIRA DE ALPORTEL EM CONDIÇÕES DE CHEIA<sup>1</sup>

## A DISTRIBUTED PRECIPITATION/RUNOFF MODEL APPLICATION TO THE "RIBEIRA DE ALPORTEL" IN FLOOD CONDITIONS

Rui Miguel Madeira Lança

Assistente na Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Algarve, membro da APRH nº 1415  
rlanca@ualg.pt

António Carmona Rodrigues

Professor Auxiliar da Faculdade de Ciências da Universidade Nova de Lisboa, membro da APRH nº 1181  
acr@mail.fct.unl.pt

**RESUMO** - Este artigo apresenta um modelo de precipitação/escoamento superficial que toma em consideração o fenómeno distribuído em toda a área da bacia. A metodologia é válida para todos os pontos da bacia, encosta ou linha de água, pelo que o modelo apresentado é uma ferramenta de análise adequada para a previsão das modificações induzidas na relação precipitação/escoamento superficial devido a modificações antrópicas ou não na bacia hidrográfica. Além disso, este modelo possibilita uma abordagem do controlo de cheias não só pela intervenção no leito como é usual, mas também pelo reordenamento da bacia, práticas de conservação do solo e alteração do seu uso.

O modelo desenvolvido é aplicado à bacia hidrográfica da Ribeira de Alportel, exemplo que serve para aferir os dados por retro-análise, comparando os caudais obtidos pela simulação com os caudais medidos na estação hidrométrica de Bodega. Deste modo, é possível prever para possíveis cenários de alteração das condições da bacia hidrográfica qual a futura resposta da bacia hidrográfica a eventos pluviométricos.

**ABSTRACT** - This article presents one precipitation/runoff model, that deals with the process in all watershed area. This make the model a good analysis tool to predict and relate changes in the precipitation/runoff relation due to modification on soil use. This model can be used in flood control works, not only by the intervention in the main channel, as it is usual, but also by reordering the watershed, soil conservation practices and changes of soil use.

The developed model is applied to the Ribeira de Alportel watershed, where, by comparing the computed results with the observed ones in Bodega's level gage station, some soil data is calibrated by back-analysis. With this data the model is able to determinate the response of the watershed due a predicted rainfall.

**PALAVRAS CHAVE:** cheias; gestão de bacias hidrográficas; modelo distribuído de precipitação/escoamento superficial; onda cinemática; infiltração.

---

<sup>1</sup> Comunicação oral apresentada no 5º Congresso da Água

# 1. INTRODUÇÃO

As cheias ocorrem como consequência de precipitações intensas, fenómeno com forte componente aleatória sobre o qual o Homem não tem controlo. No entanto, o uso e ocupação da bacia hidrográfica pelo Homem é um factor que pode influenciar imenso as consequências desses eventos.

Tradicionalmente o controlo de cheias é efectuado por soluções estruturais como reservatórios de inundação que retardam a cheia, barragens cujas albufeiras retêm ou atenuam a cheia, diques que protegem as margens de inundação, aumento das dimensões do leito dos cursos de água ou diminuição da sua rugosidade.

Actualmente existe uma forte tendência para o controlo de cheias se efectuar por soluções não estruturais a funcionarem em articulação com soluções estruturais, tais como sistemas de previsão e aviso de cheias, planos de evacuação, diminuição dos caudais de ponta por uma gestão integrada da bacia hidrográfica (Smith, 1998).

O âmbito deste artigo centra-se nesta última solução não estrutural em que se apresenta um modelo distribuído do escoamento superficial que permite simular a influência dos usos do solo e do ordenamento da bacia hidrográfica na relação precipitação/escoamento superficial e consequentemente nos hidrogramas de cheia que se verificam em qualquer secção da rede hidrográfica.

Para além da exposição teórica do modelo também é apresentado um caso de aplicação, à bacia hidrográfica da Ribeira de Alportel.

## 2. ESTRUTURA DO MODELO

O modelo de simulação do escoamento superficial proposto assenta sobre um modelo digital do terreno constituído por uma malha regular de células. Este género de modelos digitais do terreno embora mais rudimentares do que outros, como as malhas de triângulos irregulares adjacentes, mais conhecidas por TIN (do inglês "*triangular irregular network*"), apresentam inúmeras vantagens, devido à simplicidade, principalmente quando se pretende utilizar imagens de satélite para a caracterização do relevo, solos e usos do solo.

O movimento do escoamento superficial, gerado pela precipitação efectiva (parte da precipitação que não se infiltra nem fica retida nas plantas ou em pequenas irregularidades do solo e que escoam superficialmente até às linhas de água) pela rede hidrográfica é descrito pelo modelo de onda cinemática. A rede hidrográfica é gerada com base no modelo digital do relevo e a precipitação efectiva pode ser calculada pelo método do número de escoamento do Soil Conservation Service ou pela equação de Green-Ampt, consoante a informação sobre as propriedades hidrológicas dos solos que estejam disponíveis.

### 2.1. CAUDAIS DE PERCURSO

O cálculo dos caudais de percurso é determinado com base na precipitação efectiva, numa visão do escoamento superficial, como a descrita por Horton, 1933 (Ven-Te-Chow, 1988). Assim, para cada célula e para cada instante, é determinada a precipitação total e a parcela desta que contribui para o escoamento superficial, denominada precipitação efectiva. Para o cálculo desta parcela podem ser empregues dois métodos distintos: a equação de Green-Ampt e o método da número de escoamento do Soil Conservation Service. O modelo considera que a precipitação efectiva gerada na superfície de cada célula é instantaneamente convertida em caudal de percurso do troço de rede hidrográfica que drena a respectiva célula, desprezando o tempo que o escoamento leva a percorrer a superfície da célula.

### 2.1.1. EQUAÇÃO DE GREEN-AMPT

A infiltração é o processo pelo qual a água passa através da superfície do solo para o interior deste. A taxa de infiltração é influenciada essencialmente pela vegetação, porosidade, condutividade hidráulica, teor de humidade do solo e pelo potencial matricial.

Em 1911, Green-Ampt propôs a seguinte expressão para a modelação da infiltração (Ven-Te-Chow, 1988):

$$F(t) = K \cdot t + \mathbf{y} \cdot \Delta \mathbf{q} \cdot \ln \left( 1 + \frac{F(t)}{\mathbf{y} \cdot \Delta \mathbf{q}} \right) \quad (1)$$

em que as variáveis assumem os seguintes significados:

$F(t)$  infiltração acumulada (mm);

$K$  condutividade hidráulica (mm/hora);

$t$  tempo (horas);

$\mathbf{y}$  potencial matricial (mm);

$\Delta \mathbf{q}$  variação do teor de humidade volumétrica do solo na passagem da frente de humedecimento (adim.).

A aplicação da equação de Green-Ampt para a modelação matemática da infiltração revela alguns problemas quando a aplicação se faz à escala da bacia hidrográfica. Não obstante do bom comportamento da equação, esta necessita de parâmetros do solo que não são fáceis de obter e que apresentam grande variabilidade espacial, mesmo dentro das mesmas classes taxonómicas. Outro problema da aplicação desta equação é que não existe forma explícita de considerar o efeito do uso do solo. Tal consideração terá que ser introduzida nos parâmetros intrínsecos do solo mediante aferição destes.

### 2.1.2. MÉTODO DO NÚMERO DE ESCOAMENTO DO SOIL CONSERVATION SERVICE

O método do número de escoamento, foi apresentado em 1972 pelo *Soil Conservation Service*. A expressão proposta para o cálculo da precipitação efectiva é a seguinte:

$$P_e = \frac{\left( P - \frac{5080}{CN} + 50.8 \right)^2}{P + \frac{20320}{CN} - 203.2} \quad (2)$$

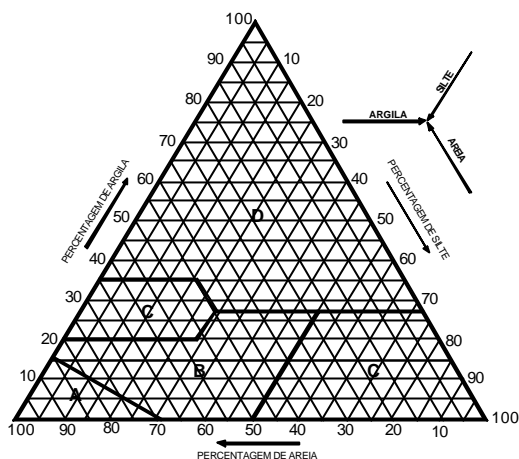
sendo:

$P_e$  precipitação efectiva (mm);

$P$  precipitação total (mm);

$CN$  número de escoamento (adim.).

O parâmetro  $CN$  é empírico, varia entre 0 e 100 e é função do tipo de solo, do uso do solo e do teor de humidade do solo anterior à chuva em questão. Existem tabelas para determinação do  $CN$ , (Lencastre, 1992). Neste método o solo é classificado segundo o seu grupo hidrológico. De acordo com experiências levadas a cabo por Raws *et al.*, 1982 (Thomas N. Debo, 1995), essa classificação pode ser efectuada por um ábaco triangular de classificação textural, no qual são identificados os quatro grupos hidrológicos.



- A - Baixo potencial de escoamento superficial
- B - Potencial de escoamento superficial abaixo da média
- C - Potencial de escoamento superficial acima da média
- D - Elevado potencial de escoamento superficial

Figura 1 - Ábaco triangular para a classificação do grupo hidrológico do solo<sup>2</sup>

A aplicação do método do número de escoamento do Soil Conservation Service para o cálculo da precipitação efectiva revela-se prático. Nos cálculos efectuados observou-se uma excelente aproximação no cálculo do volume de precipitação efectiva, utilizando os valores de *CN* indicados na bibliografia. Contudo a equação de Green-Ampt revelou-se mais eficiente quando se compara a distribuição da precipitação efectiva ao longo do tempo.

## 2.2. MODELO DE ONDA CINEMÁTICA

O modelo de onda cinemática deriva de uma simplificação das equações gerais do escoamento em superfície livre, equações de Saint-Venant:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (3)$$

$$\frac{1}{A} \cdot \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{A} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left( \frac{Q^2}{A} \right) + g \cdot \frac{\partial y}{\partial x} - g \cdot (S_0 - S_f) = 0 \quad (4)$$

onde as variáveis têm os seguintes significados:

- $Q$  caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ );
- $A$  área da secção transversal do escoamento ( $\text{m}^2$ );
- $x$  distância medida segundo a direcção do escoamento (m);
- $t$  tempo (s);
- $g$  aceleração da gravidade ( $\text{m}/\text{s}^2$ );
- $y$  profundidade do escoamento (m);
- $S_0$  declive do perfil longitudinal da linha de água (m/m);
- $S_f$  declive da linha de energia (m/m).

Estas equações diferenciais às derivadas parciais são respectivamente as equações de conservação da massa, e de conservação da quantidade de movimento.

Considerando nulos os termos da aceleração local,  $\frac{1}{A} \cdot \frac{\partial Q}{\partial t}$ , da aceleração convectiva

$\frac{1}{A} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \cdot \left( \frac{Q^2}{A} \right)$ , e da diferença de pressões entre as duas secções transversais extremas do

<sup>2</sup> Elaborado com base em Raws *et al.*, 1982 em Debo, 1995

volume de controlo considerado,  $g \cdot \frac{\partial y}{\partial x}$ , na equação da conservação da quantidade de movimento, resulta o modelo de onda cinemática. Este modelo aproxima-se da realidade quando a altura do escoamento é reduzida, não se verificam variações muito bruscas do caudal as forças mais importantes aplicadas ao fluido são a gravidade e o atrito, e a velocidade do escoamento não varia consideravelmente, sendo a aceleração reduzida (Ven-Te-Chow, 1988).

O modelo de onda cinemática pode ser traduzido pela seguinte equação:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} \cdot Q^{b-1} \cdot \left( \frac{\partial Q}{\partial t} \right) = q \quad (5)$$

sendo:

$\mathbf{a} \mathbf{b}$  parâmetros da equação da onda cinemática.

Em que  $\mathbf{a}$  é dado por:

$$\mathbf{a} = \left( \frac{P^{2/3}}{K_s \cdot S_0^{1/2}} \right) \quad (6)$$

sendo:

$K_s$  coeficiente de rugosidade de Manning-Strickler ( $m^{1/3}/s$ );

$S_0$  declive do perfil longitudinal da linha de água (m/m);

$P$  perímetro molhado da secção transversal (m).

e:

$$\mathbf{b} = \frac{3}{5}$$

Este modelo apresenta grandes vantagens do ponto de vista de resolução numérica. Os métodos utilizados para a sua resolução são consideravelmente mais simples do que os empregues para a resolução das equações de Saint-Venant.

A sua resolução pode ser efectuada recorrendo a um esquema de diferenças finitas em que o contínuo espaço tempo é discretizado numa grelha numérica, na qual actua um operador numérico explícito.

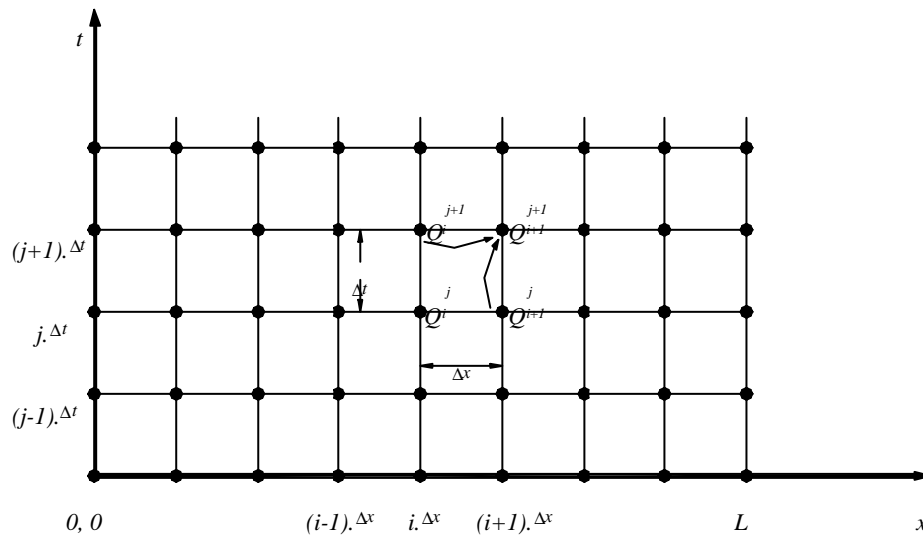


Figura 2 - Grelha numérica discretizando o plano espaço-tempo

### 2.3. MODELO 'QUASI 2D'

As equações apresentadas em 2.2 são válidas para o escoamento unidireccional. Numa bacia hidrográfica a água superficial escoar em cada ponto segundo a direcção do maior declive no sentido descendente. Num modelo digital do terreno de malha regular, a direcção do escoamento será, das oito possíveis direcções, aquela que apresenta maior declive, ver Figura 3.

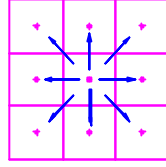


Figura 3 - Possíveis direcções do escoamento

Desta forma é possível definir com base na topografia da bacia hidrográfica a rede hidrográfica.

Na aplicação deste critério, o principal problema que ocorre com o modelo digital do relevo em quadrícula é que se as cotas de cada célula corresponderem exactamente ao ponto que representa o centro de gravidade da bacia a rede gerada tem poços, ou seja células que não têm saída por representarem erroneamente uma depressão no relevo. Para evitar tal situação a cota de cada célula deverá ser a cota da linha de água mais próxima do centro de gravidade da respectiva célula.

Neste caso a grelha numérica apresentada na Figura 2 é transformada num conjunto de grelhas numéricas com tantos elementos quanto o número de troços em que a rede hidrográfica é discretizada, como se pode observar na Figura 4 (Lança, 2000).

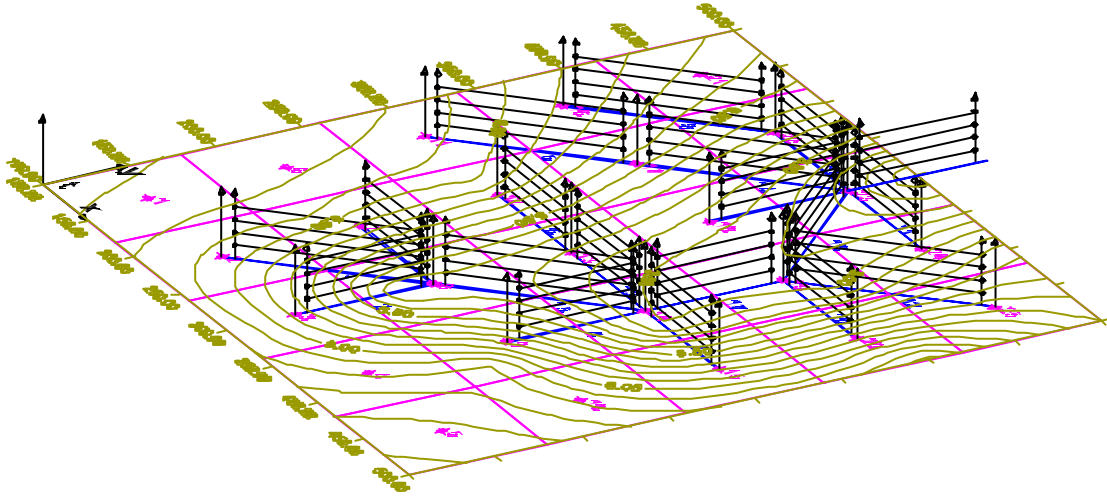


Figura 4 - Representação esquemática da discretização do contínuo espaço-tempo

Neste conjunto de grelhas numéricas que discretizam o contínuo espaço tempo actuam dois operadores numéricos explícitos. O primeiro designado por operador linear é de fácil implementação, mas os resultados obtidos variam com a relação  $\Delta t / \Delta x$ .

$$(Q_2^{j+1})_{ic} = \frac{\frac{(q_{No(1)}^{j+1})_{ic} + (q_{No(1)}^j)_{ic}}{2} \cdot \Delta t + \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} \cdot \left[ \frac{(Q_1^{j+1})_{ic} + (Q_2^j)_{ic}}{2} \right] \cdot (Q_2^j)_{ic} + (Q_1^{j+1})_{ic} \cdot \frac{\Delta t}{\Delta x}}{\frac{\Delta t}{\Delta x} + \mathbf{a} \cdot \mathbf{b} \cdot \left[ \frac{(Q_1^{j+1})_{ic} + (Q_2^j)_{ic}}{2} \right]^{b-1}} \quad (7)$$

Os resultados obtidos através deste operador linear são considerados uma estimativa inicial para o operador não linear.

O operador não linear para a resolução da equação da onda cinemática é traduzido pelas seguinte expressões:

$$C = \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot (Q_1^{j+1})_{ic} + \mathbf{a} \cdot ((Q_2^j)_{ic})^b + \Delta t \cdot \left( \frac{(q_{No(1)}^{j+1})_{ic} + (q_{No(1)}^j)_{ic}}{2} \right) \quad (8)$$

e

$$f((Q_2^{j+1})_{ic}) = \frac{\Delta t}{\Delta x} \cdot (Q_2^{j+1})_{ic} + \mathbf{a} \cdot ((Q_2^{j+1})_{ic})^b - C \quad (9)$$

O valor do caudal na secção dois no troço  $ic$   $(Q_2^{j+1})_{ic}$  será o zero da função  $f((Q_2^{j+1})_{ic})$ . Como a função é não linear, emprega-se um método de resolução numérica de equações como o método de *Newton - Raphson*.

Nos dois operadores numéricos acima referidos as variáveis assumem o seguinte significado:

<b>a e b</b>	têm o mesmo significado que no ponto 2.2;
$\Delta t$	intervalo de tempo (s);
$\Delta x$	comprimento do troço (m);
$ic$	número do troço;
$j$	nível de tempo;
$(Q_1)_{ic}$	caudal a montante do troço $ic$ (m <sup>3</sup> /s);
$(Q_2)_{ic}$	caudal a jusante do troço $ic$ (m <sup>3</sup> /s);
$q_{No(1)}^j$	caudal de percurso calculado com base na precipitação efectiva gerada na célula a montante do respectivo troço (m <sup>3</sup> /s/m).

## 2.4. RESTRIÇÕES DO MODELO

O modelo de onda cinemática não é aplicável em situações de declive negativo, situação que ocorre quando existem depressões. Nesta situação, assume-se que a superfície livre do escoamento é horizontal e aplica-se só a equação de conservação da massa.

Situações em que existem bifurcações da linha de água não podem ser simuladas pelo modelo.

### 3 - APLICAÇÃO DO MODELO À RIBEIRA DE ALPORTEL

A Ribeira de Alportel situa-se no Sotavento Algarvio, 10 km a Noroeste de Tavira. O modelo digital do relevo desta bacia é apresentado na Figura 5.

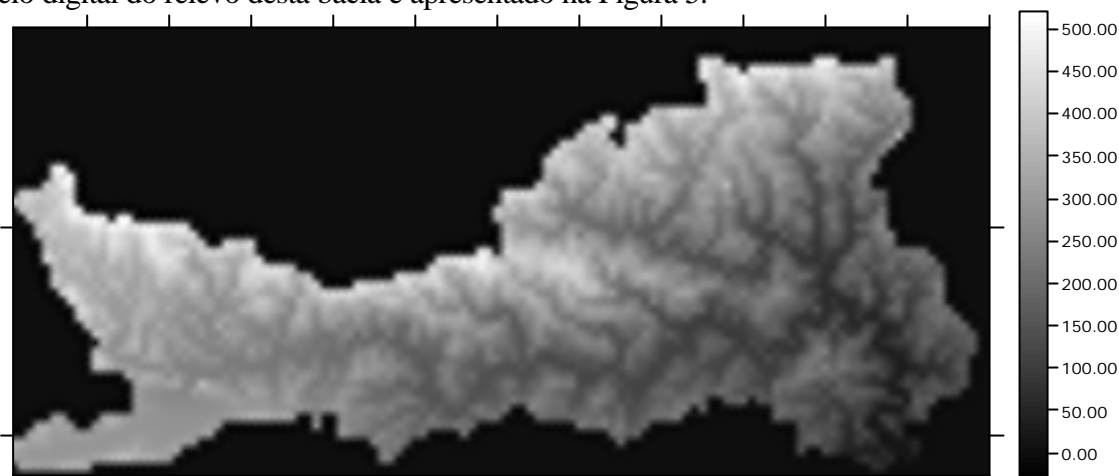


Figura 5 - Modelo digital do relevo da bacia hidrográfica da Ribeira de Alportel

A rede hidrográfica digitalizada sobre a carta militar à escala 1:25000 é a apresentada na Figura 6. No quadro 1, são apresentados parâmetros descritivos da geomorfologia da bacia hidrográfica da Ribeira de Alportel

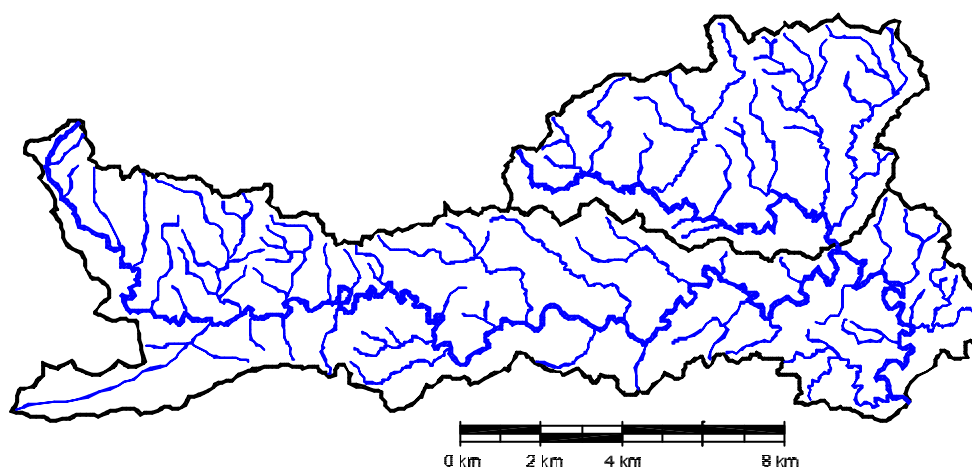


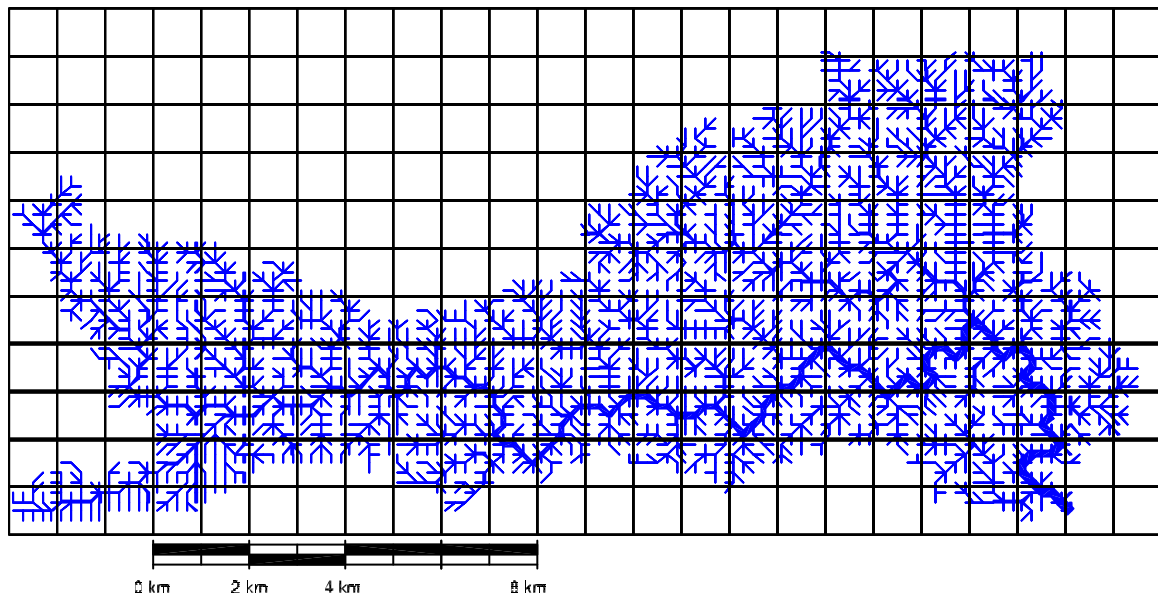
Figura 6 - Rede hidrográfica da bacia hidrográfica da Ribeira de Alportel

Parâmetro	valor	unidade
Área	132	km <sup>2</sup>
Perímetro	86.2	km
Comprimento máximo da bacia	22.5	km
Coefficiente de compacidade	2.11	adim.
Factor de forma	5.88	adim.
Rectângulo equivalente		
L	40	km
l	3.3	km
Densidade de drenagem	4.86	km/km <sup>2</sup>
Inclinação média das vertentes	18.3	%
Altitude máxima	520	m
Altitude mínima	13	m
Altitude média	245.4	m
Índice de pendente	0.0228	m/m

Quadro 1 - Parâmetros descritivos da geomorfologia da bacia hidrográfica da Ribeira de Alportel



Utilizando o modelo digital do relevo de células adjacentes regulares com dimensão de (200x200) m<sup>2</sup> e para representar a topografia da bacia hidrográfica, e gerando a rede hidrográfica pelo critério de o escoamento se dar segundo o maior declive, obtém-se a rede hidrográfica apresentada na Figura 7.



**Figura 7 - Discretização da rede hidrográfica da Ribeira de Alportel**

A secção transversal de cada troço de rede hidrográfica foi considerada trapezoidal assimétrica em que a dimensão da base é directamente proporcional ao número de ordem do respectivo troço. O número de ordem do troço é igual ao máximo número de troços a montante mais um. O declive das margens é definido pela diferença de cotas entre o fundo do canal e a respectiva célula lateral adjacente a dividir pela distância entre os pontos cotados considerados.

Após a discretização da rede hidrográfica, verifica-se que o comprimento das linhas de água na rede hidrográfica discretizada é sensivelmente inferior à mesma grandeza medida na cartografia. Isto deve-se ao suprimimento de algumas curvas com pequeno raio. Esta diferença aumenta com o aumento da dimensão das células. Para atender a esta diferença introduz-se um factor de sinuosidade adicional definido pela relação entre o comprimento da linha de água principal medida sobre a cartografia base e o mesmo comprimento medido na rede hidrográfica discretizada.

A calibração dos coeficientes de Manning-Strickler foi efectuada com base no tempo de concentração. Por definição, o tempo de concentração é o tempo necessário para que toda a área da bacia hidrográfica esteja a contribuir para o escoamento na secção de controlo, então para uma chuva uniforme, após o tempo de concentração, o hidrograma estabiliza num valor igual à intensidade de precipitação a multiplicar pela área da bacia hidrográfica. Outra consideração baseada na observação da bacia hidrográfica em estudo é que os coeficientes de rugosidade de Manning-Strickler variam ao longo da rede hidrográfica numa razão proporcional ao número de ordem dos respectivos troços.

Com base nestas considerações, o processo de calibração dos coeficientes de Manning-Strickler é o seguinte:

- calcular o tempo de concentração com base em fórmulas empíricas adequadas à região e à morfologia da bacia hidrográfica;

- com base em observações da morfologia e estado das linhas de água nas zonas de cabeceira, zona intermédia e parte final da linha de água principal, estimam-se os coeficientes de rugosidade de Manning-Strickler para cada uma destas zonas;

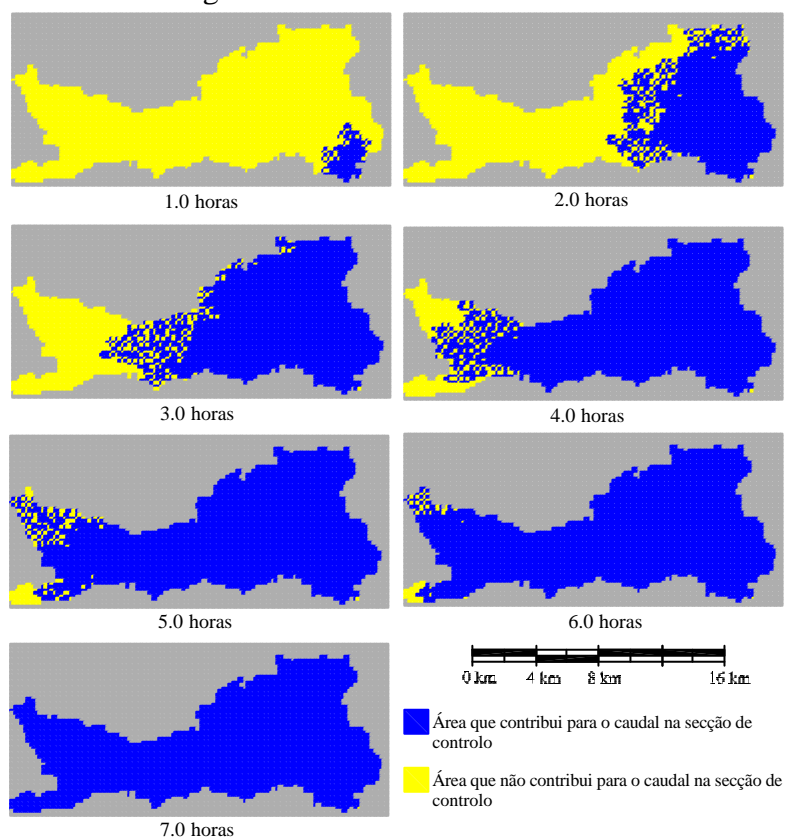
- efectuar a simulação com os coeficientes de Manning-Strickler estimados, para uma chuva unitária (10mm/hora) de longa duração;

- comparar o tempo que o hidrograma leva a estabilizar com tempo de concentração;

- aferir os coeficientes de Manning-Strickler até que a diferença entre o tempo de concentração e o tempo de estabilização do hidrograma seja mínima;

Para a bacia hidrográfica da Ribeira de Alportel, os coeficientes de rugosidade de Manning-Strickler são de  $4 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  para os troços de ordem 1 (cabeceiras) e de  $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  para o troço de ordem máxima (secção de controlo).

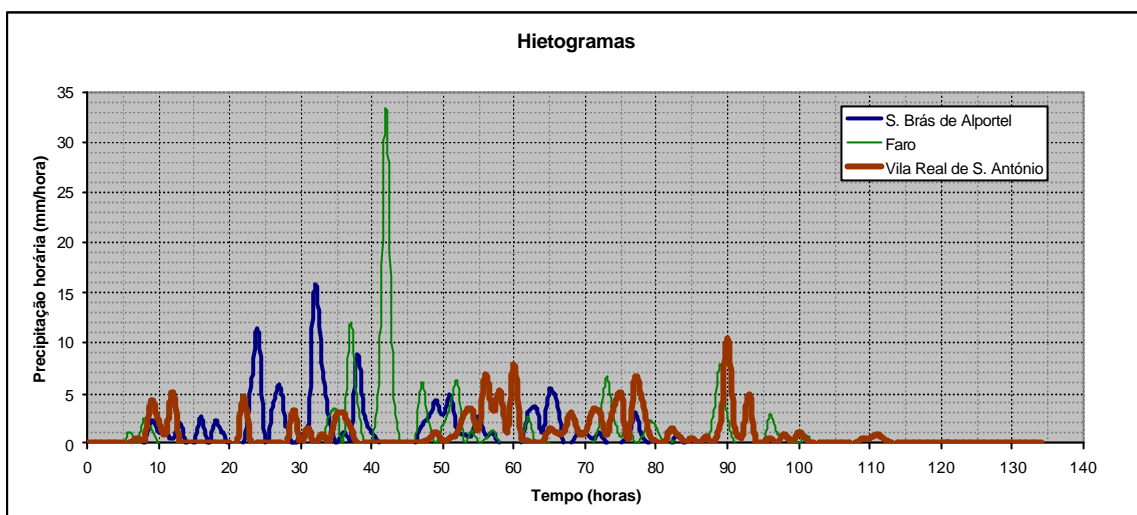
Para uma chuva efectiva de 10 mm/hora, as áreas de contribuição após 1, 2, ..., 6, 7 horas são as apresentadas na Figura 8.



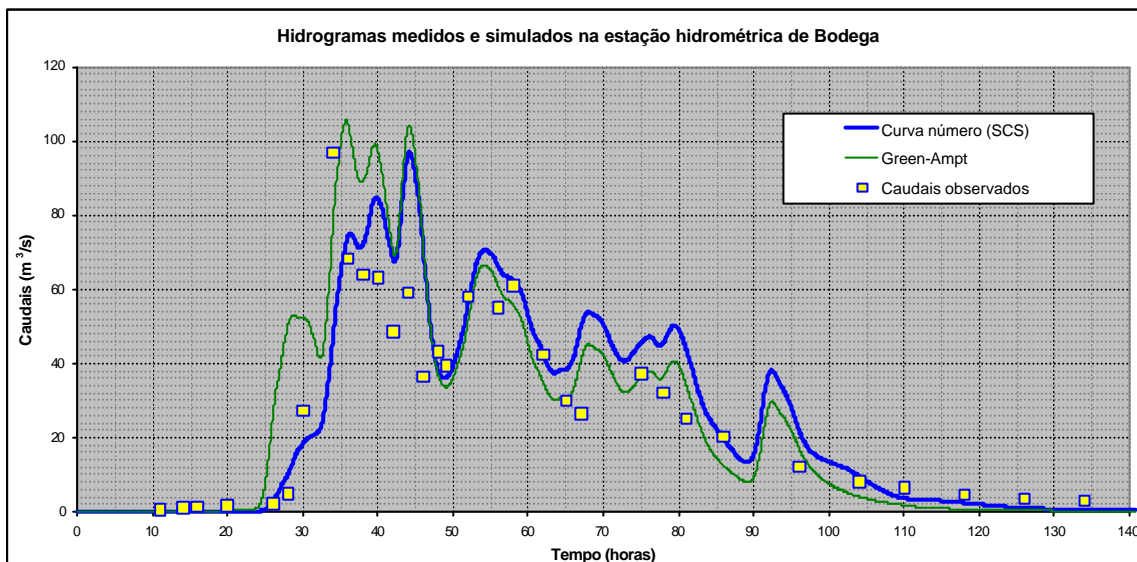
**Figura 8 - Áreas de contribuição**

No caso de um evento meteorológico real, conhecidos os udogramas de precipitação horária registados nos postos udográficos de Faro, São Brás de Alportel e Vila Real de Santo António e o hidrograma registado na estação hidrométrica de Bodega, foi possível calibrar as propriedades hidrológicas dos solos nos dois métodos referidos para o cálculo da infiltração. Esta calibração foi efectuada com base no controlo dos volumes de precipitação efectiva gerada e caudal escoado, simulado e observado na estação hidrométrica de Bodega.

A precipitação horária é calculada para todas as células (distribuída espacialmente) pelo método do inverso das distâncias, em que num determinado ponto a precipitação é calculada como uma média ponderada pelo inverso das distâncias entre esse ponto e as respectivos postos udográficos considerados.



**Figura 9 - Precipitação horária observada nos postos udográficos<sup>3</sup>**



**Figura 10 - Hidrogramas calculados e observados na estação hidrométrica de Bodega<sup>4</sup>**

A diferença entre os caudais observados e os caudais simulados que se observa na Figura 10, pode ser devida aos postos udográficos de Faro e Vila Real de Santo António estarem demasiado afastadas da bacia hidrográfica. Como é sabido, precipitações mais intensas são de curta duração e são espacialmente irregulares. Daí se deve a diferença entre os caudais observados e simulados.

De qualquer modo, e principalmente no segundo e terceiro dia, em que as chuvas são menos intensas, os caudais simulados e calculados aproximam-se. Para melhor aferir o modelo seria necessário que existisse pelo menos um posto udográfico situado no interior da bacia hidrográfica, preferencialmente o mais próximo possível do seu centro de gravidade.

<sup>3</sup> Precipitação com início às 10:00 do dia 09/12/95

<sup>4</sup> Hidrograma com início às 10:00 do dia 09/12/95

#### 4. CONCLUSÕES

Neste artigo, apresenta-se um modelo distribuído determinístico do escoamento superficial numa bacia hidrográfica. Na concepção do modelo foram feitas diversas considerações e simplificações que se resumem no seguinte:

- assume-se que as propriedades do terreno são homogéneas no interior de cada célula, podendo no entanto variar de célula para célula. Verifica-se que tal restrição não constitui problema, pois para o comportamento global da resposta da bacia a um evento pluviométrico, a variabilidade espacial das propriedades do terreno é correctamente representada de acordo com a informação de base disponível;

- as considerações efectuadas na definição da geometria das secções transversais e na definição dos coeficientes de rugosidade podem ter algumas discrepâncias localizadas com a morfologia "*in-situ*". No entanto, considerando a globalidade da bacia e a influência na relação precipitação/escoamento superficial, tais considerações revelaram-se ser bastante coerentes, uma vez que os valores das rugosidades considerados são coerentes com a bibliografia, (Chow 1959; Silva 1996);

- a aplicação da equação da onda cinemática para a modelação do escoamento superficial em regime variável revelou-se adequada, sendo apenas de referir algumas diferenças verificadas entre as curvas de esvaziamento dos hidrogramas calculado e observado, uma vez que para valores de caudais muito baixos, as celeridades diminuem consideravelmente, o que faz com que o tempo de esvaziamento da rede hidrográfica seja alto. Tal constatação também é registada por (Silva, 1996). O principal problema deste modelo é não poder ser aplicado directamente em situações de declive nulo ou negativo;

- em locais onde realmente existem depressões, troços com declive nulo ou negativo, em vez de aplicar o modelo de onda cinemática, assume-se que a superfície livre do escoamento é horizontal e o escoamento é calculado com base na equação de conservação da massa.

#### AGRADECIMENTOS

O autor deseja apresentar os seus agradecimentos a todas as pessoas e entidades/instituições que, de algum modo contribuíram para a elaboração deste trabalho.

Em particular gostaria de agradecer:

- Ao Professor Doutor António Carmona Rodrigues pela sua disponibilidade e prontidão na orientação e cooperação neste trabalho;

- Ao Eng. José Luís Teixeira da Costa, da Universidade do Algarve, Escola Superior de Tecnologia pelos seus conselhos práticos e apoio dado durante a realização deste trabalho;

- Ao Instituto da Água (INAG), em especial à Eng<sup>a</sup> Cláudia Brandão, pela disponibilização dos dados de campo, necessários à aferição deste trabalho;

- À Direcção Regional do Ambiente do Algarve (DRAA), em especial ao Sr. Cláudio pela sua prontidão em disponibilizar os dados da estação meteorológica de São Brás de Alportel;

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Debo**, Thomas N.; **Reese**, Andrew J. "Municipal Storm Water Management". Lewis Publisher, 1995.
- Lança**, R. (2000). "*Contribuição Para o Estudo de Cheias Recorrendo a um Modelo Distribuído*". Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Solo e da Água pela Universidade de Évora.
- Lencastre**, A.; **Franco**, F. M. (1992). "*Lições de Hidrologia*". Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia.
- Silva**, Maria Manuela Portela Correia dos Santos Ramos da (1996). "Modelo Distribuído de Simulação do Escoamento Superficial". Dissertação submetida para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Técnica de Lisboa.
- Smith**, Keith; **Ward**, Roy. "Floods, Physical Processes and Human Impacts". Wiley, 1998.
- Ven-Te-Chow**(1959)."Open Channel Hydraulics". McGraw-Hill.
- Ven-Te-Chow**; **Mays**, Larry; **Maidment**, David (1988). "Applied Hydrology". McGraw-Hill.